

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ПОЛЯГУШКО ЛЮБОВ ГРИГОРІВНА

УДК 004:615.478](043.3)

**ПРОГРАМНО-АПАРATНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОДЕЛЮВАННЯ
ВПЛИВУ ГІПОКСІЇ НА ОРГАНІЗМ ЛЮДИНИ ТА ПРОВЕДЕННЯ
ГІПОКСИЧНИХ ТРЕНУВАНЬ**

спеціальність 05.13.12 – системи автоматизації проектувальних робіт

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2019

Дисертація є рукопис

Робота виконана на кафедрі автоматизації проектування енергетичних процесів і систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Міністерство освіти та науки України

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Сліпченко Володимир Георгійович,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
професор кафедри автоматизації проектування
енергетичних процесів та систем.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Лобур Михайло Васильович,
Національний університет «Львівська політехніка»,
завідувач кафедри систем автоматизованого проектування;

кандидат технічних наук
Сенченко В'ячеслав Родіонович,
Інститут проблем реєстрації інформації НАН України,
старший науковий співробітник
відділу цифрових моделюючих систем.

Захист відбудеться 9 грудня 2019 р. о 14 годині 00 хвилин на засіданні спеціалізованої вченої ради К 26.002.17 у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, м. Київ, проспект Перемоги, 37, корп. 35, ауд. 120.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (03056, м. Київ, проспект Перемоги, 37).

Автореферат розіслано “___” _____ 2019 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



Г.Д. Кисельов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У клінічній та спортивній медицині постійно спостерігається поява нових методів немедикаментозного лікування та підвищення резистентності організму людини, оскільки медикаментозну терапію часто пов'язують з розвитком поліпрагмазії, алергічних та небажаних побічних реакцій організму. Роботи провідних вітчизняних та зарубіжних вчених (П. Бер, Дж. Вест, Дж. Холдейн, І.М. Сеченов, В.В. Пашутін, П.М. Альбіцький, Т.М. Циганова, М.М. Сиротинін, І.Р. Петров, А.З. Колчинська, О.В. Коркушко, В.Я. Березовський, В.Б. Шатило, І.М. Маньковська, Т.В. Серебровська, П.О. Радзієвський, М.П. Радзієвська та інші) свідчать, що одним з найбільш ефективних та безпечних немедикаментозних методів є гіпоксичні тренування (ГТ), зокрема, інтервальні нормобаричні гіпоксичні тренування (ІНГТ). Для проведення ІНГТ створюються спеціальні медичні пристрої та апаратні комплекси – гіпоксикатори. Аналіз літературних джерел та практичний досвід показує, що функціональні можливості більшості існуючих гіпоксикаторів обмежені лише створенням газової гіпоксичної суміші (ГГС) та системою подачі цієї ГГС пацієнтові, та не забезпечують проведення дослідження реакції організму на гіпоксичний вплив. Тому актуальною задачею є підвищення ефективності гіпоксикаторів за рахунок розширення програмно-апаратного забезпечення моделюванням впливу гіпоксії та ГТ на організм людини.

Вагомий внесок у розвиток технічного забезпечення гіпокситерапії зробили провідні вчені та інженери Р.Б. Стрелков, О.С. Басович, В.О. Лопата, В.Я. Березовський, І.К. Котляр тощо.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась на кафедрі автоматизації проектування енергетичних процесів і систем теплоенергетичного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» у рамках продовження роботи над науково-технічною програмою «Розробка науково-методичних основ системи прогнозування генетичного ризику впровадження нових технологій та забруднення навколишнього середовища «ГРАНІТ», яка розроблена на виконання Указу Президента України від 17 січня 1995 року № 53/95 «Про систему прогнозування генетичного ризику впровадження нових технологій та забруднення навколишнього середовища» та «Розробка автоматизованого робочого місця спеціаліста по інтервальним нормобаричним гіпоксичним тренуванням» (номер державної реєстрації 0117U006796, термін виконання 2017-2020).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є дослідження шляхів підвищення ефективності гіпоксикаторів для того, щоб зробити ефективним, безпечним, зручним та доступним використання гіпокситерапії в клінічній практиці. *Ця робота є однією з перших вітчизняних робіт з розробки автоматизованих програмно-апаратних комплексів в медико-профілактичній сфері, зокрема, для проведення ГТ та вивчення гіпоксичного впливу на організм людини.* Для реалізації цього завдання необхідно вирішити наступні задачі, що

були сформовані з урахуванням дослідження специфіки області використання розробленого комплексу:

1. Провести порівняльний аналіз сучасного програмного та апаратного забезпечення для моделювання впливу гіпоксії на організм людини та проведення ГТ.

2. Дослідити фізіологічні процеси в організмі під впливом гіпоксії для виділення параметрів, що необхідно визначати для аналізу ефективності проведених сеансів гіпокситерапії.

3. Провести проектування конструкцій комплексу медичного призначення, використовуючи сучасні можливості систем автоматизованого проектування робіт.

4. Створити технічне забезпечення автоматизованого програмно-апаратного комплексу (АПАК) для вивчення впливу гіпоксії на організм людини та проведення ГТ.

5. Запропонувати та розробити проблемно-орієнтоване програмне забезпечення (ПЗ) для проведення дослідження впливу гіпоксії на організм та проведення ГТ.

6. Провести налаштування та дослідження роботи АПАК під час проведення ІНГТ.

Об'єктом дослідження є процес проектування автоматизованих програмно-апаратних комплексів медичного призначення.

Предметом дослідження є моделі, алгоритми та програмні комплекси, що призначені для розробки програмно-апаратного забезпечення моделювання впливу гіпоксії на організм людини та проведення ГТ.

Методи досліджень. Для вирішення задачі побудови програмно-апаратного забезпечення використовувалися методи математичного моделювання функціональних систем організму, штучного інтелекту та інженерії програмного забезпечення, а також методи організації баз знань та здійснення логічного висновку.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше обґрунтовано склад автоматизованого програмно-апаратного комплексу для визначення реакції організму людини на гіпоксію та проведення ГТ на базі моделювання процесів газообміну в дихальній системі та транспорту респіраторних газів кров'ю в серцево-судинній системі, що дозволило скоротити витрати на виробництво та експлуатацію АПАК за рахунок врахування індивідуальних особливостей цільової аудиторії пацієнтів комплексу.

2. Вперше запропоновано та розроблено математичну модель для визначення кількості хімічного поглинача CO_2 , що дозволило скоротити собівартість процедури в 10 разів.

3. Набуло подальшого розвитку моделювання параметрів кардіореспіраторної системи організму людини за рахунок розробки адаптивного програмного забезпечення, що дозволяє провести розширений аналіз стану дихальної та серцево-судинної систем та дослідити гіпоксичний вплив.

4. Набуло подальшого розвитку ПЗ АПАК та запропоновано архітектуру та технологію розробки, що забезпечує використання окремих підсистем як незалежних програм з іншими медичними пристроями та легку модифікацію системи.

5. Набуло подальшого розвитку поширення функціональних можливостей експертних систем медичного призначення та створено спеціалізовану експертну систему для вироблення експертних рішень під час медичних процедур, зокрема, гіпокситерапії, що дозволило зменшити кількість лікарських помилок при проведенні терапії та призначенні лікування.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, основних висновків і результатів дисертаційної роботи забезпечується аналізом стану досліджень в проблемній області, узгодженістю теоретичних висновків з результатами експериментальної перевірки даних, а також апробацією основних теоретичних положень дисертації в друкованих працях та доповідях на міжнародних наукових конференціях.

Практичне значення одержаних результатів.

Практична цінність результатів роботи полягає в наступному:

1. Розроблено АПАК для проведення ГТ, що забезпечує подачу пацієнтові ГГС потрібного складу, збір та обробку даних про стан пацієнта, а також дозволяє провести всебічний аналіз стану кардіореспіраторної системи.

2. Змодельовані конструкції блоків комплексу для різних комплектацій. Креслення та тривимірні моделі можуть використовуватися на виробництві під час виготовлення пристроїв.

3. Розроблено підсистему автоматизованої оцінки сеансів та дослідження параметрів кардіореспіраторної системи, що забезпечує найбільш ефективне та безпечне проведення ГТ та визначення чутливості до гіпоксії організму людини.

4. Розроблений АПАК запатентовано та впроваджено у відділі клінічної фізіології та патології внутрішніх органів ДУ «Інститут геронтології ім. Д.Ф. Чеботарьова НАМН України».

5. Отримано методичні рекомендації МОЗ (42.17/86.17), що пропонуються для впровадження в лікувально-терапевтичних установах Міністерства охорони здоров'я України пульмонологічного та терапевтичного профілю

Особистий внесок здобувача. Результати дисертаційних досліджень отримані автором особисто. Роботи [7, 15-17] написані автором дисертації особисто. У роботах, опублікованих із співавторами, дисертанту належить: [1, 2] – опис та розроблення ПЗ до гіпоксикатору «ГІПОТРОН», дослідження становлення та сучасний стан науки про гіпоксію та ГТ; [3] – аналіз моделей моделювання процесів кардіореспіраторної системи під впливом гіпоксії; [4] – запропоновано та реалізовано структуру нового АПАК для проведення гіпокситерапії; [5] – опис особливостей реалізації збору та обробки інформації з вимірювальних пристроїв медичного призначення в реальному часі; [6] – розробка системи автоматизованого проектування конструкцій корпусів гіпоксикаторів; [8-10] – запропоновано нові конструкції АПАК; [11-13] –

запропоновано структуру ПЗ АПАК для гіпокситерапії, розробка підсистем ПЗ користувача для моделювання впливу гіпоксії на організм людини та автоматизованої оцінки сеансів; [14] – результати аналізу ефективності роботи АПАК у хворих на ХОЗЛ похилого віку. Автором не використовувались ідеї та розробки співавторів публікації.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на науково-технічних конференціях: міжнар. наук.-практ. конф. аспірантів, магістрантів і студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики», м. Київ (Україна), 2012-2018 рр.; наук. конф. «Фундаментальні та прикладні дослідження у сучасній науці», м. Харків (Україна), 2016 р.; нац. конгресі геронтологів і геріатрів України, м. Київ (Україна), 2016 р.; міжн. мед. конгресі «Впровадження сучасних досягнень медичної науки у практику охорони здоров'я України», м. Київ (Україна), 2017 р.; International Talents Innovation and Entrepreneurship Conference, м. Вейхай (Китай), 2017 р.; XX міжн. наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми геометричного моделювання», м. Мелітополь (Україна), 2018 р.; міжн. наук. інтернет-конф. «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення», м. Тернопіль (Україна), 2018, 2019 р.; IV міжн. наук.-техн. конф. «Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем», м. Дніпро (Україна), 2018 р.; The 7th European Conference on Innovations in Technical and Natural Sciences, м. Вена (Австрія), 2019 р. АПАК демонструвався на виставках: міжн. мед. форум «Інновації в медицині – здоров'я нації», м. Київ (Україна), 2014-2016, 2018 рр.; промислова виставка «Зроблено в Києві», м. Київ (Україна), 2017 р.

Публікації. За результатами досліджень, що викладені в дисертації, опубліковано 17 наукових праць, у тому числі 2 монографії, 5 статей у наукових фахових виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз, 3 патенти на корисну модель, 3 авторських права на твір, 1 методичні рекомендації, 3 тези доповідей в збірниках матеріалів конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновку, списку використаних джерел з 99 найменуваннями та 4 додатків. Загальний обсяг складає 176 сторінок, основна частина 150 сторінок. Робота містить 69 рисунків і 8 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність та доцільність виконаної роботи, сформульовано мету і задачі наукового дослідження, наведено дані про зв'язок роботи з науковими програмами, викладено наукову новизну, практичне значення та реалізацію результатів дисертації, наведено відомості про їх апробацію та публікації.

У **першому розділі**, що має назву «*Аналіз стану розробки програмного та апаратного забезпечення в області гіпоксії та гіпоксичних тренувань*», розглянуто базові поняття в області гіпоксії та ГТ, різні способи проведення ГТ

(перебування в горах, в барокамері та проведення ІНГТ), ефективність ІНГТ при різних захворюваннях (А.Я. Чижов, Т.М. Циганова, А.З. Колчинська, Е.О. Асанов, О.В. Коркушко, В.Б. Шатило та ін.) та під час підготовки спортсменів до змагань (А.З. Колчинська, М.І. Волков, Н.Ж. Булгаков, М.П. Закусило, П.О. Радзієвський, Т.Г. Дибя і ін.). Висока ефективність ГТ обумовлена тим, що в процесі адаптації до гіпоксії в курсі ІНГТ відбувається посилення всіх фізіологічних систем, функції яких спрямовані на компенсацію гіпоксії.

ІНГТ та гіпоксикатори набули широкого практичного використання в санаторіях, лікарнях, поліклініках, медичних та спортивних центрах Росії, Австралії, Німеччини, США тощо. Також набуває популярності проведення ГТ під час сну в герметичних палатках, наповнених згенерованою ГГС та перетворення звичайних кімнат в будинках, офісах чи спортивних залах на гіпоксичні кімнати. В Україні, на жаль, ГТ ще не отримали такого широкого практичного використання і в основному проводяться сеанси ІНГТ лише в спеціалізованих центрах при наукових медичних установах.

Проведено аналіз конструктивних та функціональних особливостей існуючих гіпоксикаторів. Розглянуто класифікацію Лопати В.О. та Серебровської Т.В. за способом подачі ГГС: камерний та масковий; за способом формування ГГС: дезоксигенація (газорозділення на мембранах та волокнах, зв'язування кисню цеолітами та електролітами, дихання в напівзамкненому контурі) та змішування стислих газів; за способом регулювання і підтримки складу ГГС: газоаналітичний та аеродинамічний. У зарубіжній літературі наводиться класифікація за типом сформованої ГГС: гіпоксикатори-гіперкапнікатори, гіпоксикатори-гіперксікатори та власне гіпоксикатори, що в свою чергу поділяються на гіпоксикатори ререспіраторного типу («AltiPower» (Австралія), АПК «Гіпотрон» (Україна), «Вершина» та «Вершинка» (Росія)), що виробляють газову суміш за допомогою зворотного дихання пацієнта в замкненому дихальному контурі, і гіпоксикатори генераторного типу («Борей» (Україна), «ReOxy» (Росія-Німеччина), «CellOne Air» (Росія-Німеччина), «Нурокісо» (США), «GO2Altitude Hypoxicator system» (Австралія)), які незалежно від пацієнта виробляють чисту ГГС, в основному за допомогою використання мембранних технологій розділення газів. Розглянуто спрощені конструкції гіпоксикаторів різного типу та виділено основні недоліки. Гіпоксикатори генераторного типу є досить дорогими, громіздкими, незручними у використанні та з обмеженим функціоналом моніторингу стану людини, термін окупності є досить великим. У той же час, гіпоксикатори ререспіраторного типу є зручними та більш доступними по вартості для більшості населення України. Термін окупності гіпоксикаторів ререспіраторного типу в 10 разів менший за попередній тип. Але основним недоліком цього типу є необхідність використання великої кількості поглинача CO_2 на один сеанс, що призводить до удорожчання собівартості однієї процедури. Таким чином, враховуючи ситуацію в країні більш рентабельним є створення гіпоксикаторів ререспіраторного типу при умові виправлення недоліку та підвищення ефективності гіпоксикатора за рахунок розширення функціоналу в області моніторингу стану пацієнта та

моделювання впливу гіпоксії на організм.

У другому розділі, який називається *«Математичний апарат дослідження впливу гіпоксії та гіпоксичних тренувань на організм»* описано вирішення задачі дослідження фізіологічних параметрів людини та автоматизованого аналізу стану організму та проведених сеансів.

Задача автоматизації оцінки сеансів та стану організму під час гіпокситерапії виникла на базі проведених досліджень, що показали важливість об'єктивного заключення лікаря та своєчасного реагування на зміни параметрів дихання та гемодинаміки під час сеансів. Головними питаннями, на які відповідає розроблена система, є: допуск пацієнта до процедур; рекомендації при нештатній зупинці сеансу; оцінка проведення сеансу діагностики за параметрами, отриманими з вимірювальних пристроїв в реальному часі під час сеансу; оцінка курсу лікування ІНГТ за обраними лікарем параметрами кардіореспіраторної системи в залежності від діагнозу пацієнта та задач, які ставляться перед проведенням дослідження; рекомендації щодо подальшого лікування. Для реалізації можливості надання відповідей на ці питання база правил містить наступну інформацію: показання та протипоказання проведення гіпокситерапії; критерії зупинки проведення сеансів діагностики або лікування; критерії для оцінки сеансів діагностики; критерії для оцінки курсу ІНГТ; критерії для оцінки стану пацієнта за параметрами, що характеризують стан кардіореспіраторної системи.

Описано формальну модель бази знань (база правил), що використовується для автоматизованої оцінки сеансів та стану систем організму. Прийняття рішень в розробленій системі відбувається на основі правил, що вводить експерт в систему. Формальна модель бази правил має вигляд:

$$(i); Q; A \rightarrow B,$$

де i – ім'я правила, Q – елемент, що характеризує сферу застосування правила, $A \rightarrow B$ – ядро продукції (правило), у якому A – передумови (умови) правила, B – висновок (наслідок, дія) правила.

Оскільки модель повинна забезпечувати подання правил різного виду вкладеними умовами, буде використаний рекурсивний механізм опису вузлів і кінцевих вершин дерева умови правила. Параметр A визначається наступним чином:

$$A = (Al, R, Ar),$$

де Al і Ar – лівий та правий вузли умови правила, R – відношення між вузлами правил.

$$Al = FAl \parallel Null \parallel A, Ar = FAr \parallel Null \parallel A,$$

де FAl і FAr – ліва та права кінцеві трійки умови правила.

$$FAl = FAr = (P, Z_A, W),$$

де P – змінна, Z_A – знак умови, $Z_A = \{<, >, \leq, \geq, =\}$, W – значення умови, що може бути або константою, або діапазоном. $R \subset (Al \times Ar)$, чи $R: Al \rightarrow Ar$. $R = \{\wedge, Null\}$.

Аналогічно параметру A визначається параметри B – наслідок правила. На модель представлення бази правил накладаються такі обмеження. Для обраного

i -го піддерева умови або наслідку елемента правила повинні виконуватися наступні умови:

якщо $(R_i = Null)$, то $(Al_i! = Null)$ і $(Ar_i = Null)$;

якщо $(R_i = \wedge)$, то $(Al_i! = Null)$ і $(Ar_i! = Null)$.

Формування індексу вузла формальної моделі полягає в наступному: верхній індекс відповідає номеру правила в базі правил. Нижній індекс ведеться по порядку для кожної нової вершини одного рівня. Нижній індекс є складовим і відображає глибину вкладеності умов в правилі. При створенні нової вершини типу A, B, FAl, FAr, FBl, FBr , додається новий нижній індекс, що починається з одиниці.

Для зберігання бази правил використовується реляційна база даних (БД), що зберігається в СКБД MySQL. У системі використано алгоритм зіставлення зі зразком Rete для прискорення пошуку результатів.

Система автоматизованої оцінки грає важливу роль в оцінці стійкості організму до гіпоксії та змін стану організму при різних захворюваннях, зокрема, при хронічному обструктивному захворюванні легень (ХОЗЛ). Підсистема може використовуватися для навчання та підготовки спеціалістів по ГТ.

При моделюванні впливу ГТ на організм пацієнта використовуються показники кардіореспіраторної системи, що визначаються до та після курсу лікування, або належні значення параметрів, що розраховуються за допомогою математичних формул. Ці параметри (рис. 1) дозволяють оцінити компенсаторну реакцію організму людини на гіпоксичний вплив, зокрема, системи зовнішнього дихання, серця, системи кровообігу тощо, та ефективність проведення курсу лікування за показниками, що характеризують бронхіальну прохідність, резервні можливості легень, скорочувальну здатність міокарду, судинний кровообіг, кисневого забезпечення організму тощо.

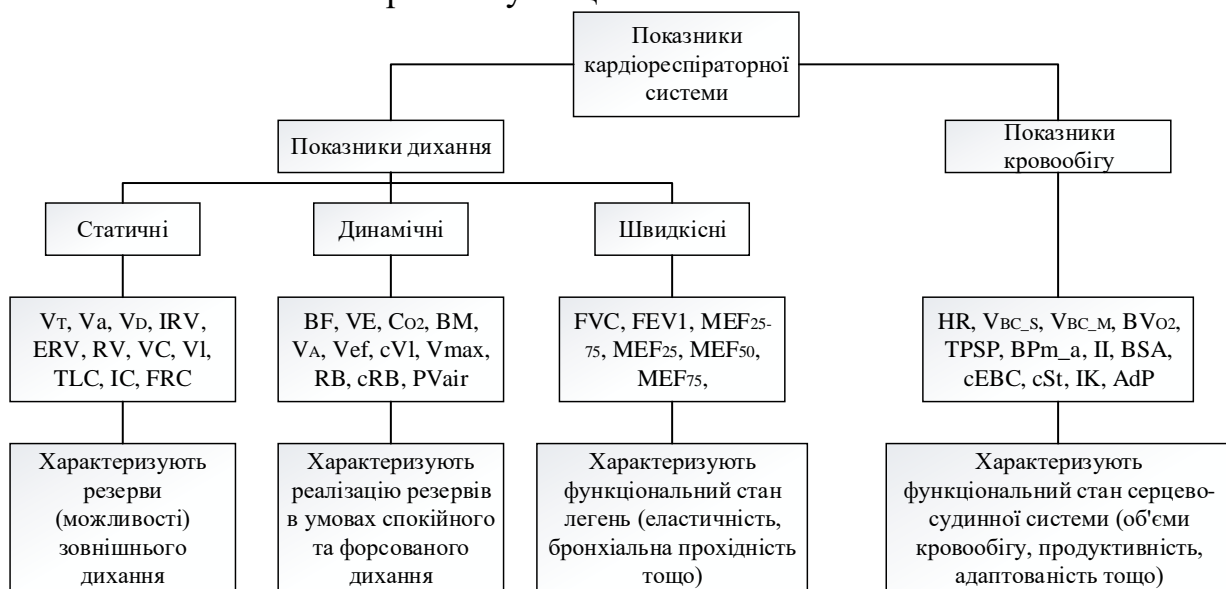


Рис. 1. Параметри кардіореспіраторної системи

Ці параметри залежать від статі, віку, ваги, зросту, тому їх зручно використовувати в клінічній практиці лікаря так як для їх розрахунку немає потреби в додатковому обладнанні чи в проведенні інвазійних методів обстеження від яких пацієнти часто відмовляються.

Наведені набори формул стали основою для підсистеми дослідження кардіореспіраторної системи, що може незалежно від комплексу та експертної системи працювати як самостійна програма для визначення параметрів організму.

У третьому розділі, що носить назву «*Апаратне забезпечення автоматизованого програмно-апаратного комплексу для проведення гіпоксичних тренувань*» описано будову та принцип роботи АПАК (рис. 2), проведено моделювання деталей конструкції комплексу та розрахунки базових параметрів корпусів БУ та дихального контуру (ДК) АПАК.

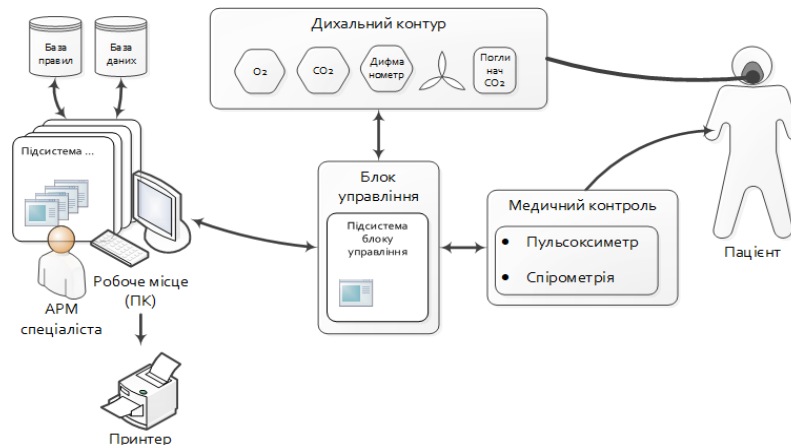


Рис. 2. Схема взаємозв'язку компонентів АПАК

Основною частиною БУ є мікроконтролер ATmega32A4, що забезпечує отримання даних з вимірювальних пристроїв, їх математичну обробку, керування виконуючими пристроями, що підтримують задану концентрацію газів у ГГС, що вдихається, а також забезпечує зв'язок апарату з ПК через протокол USB. Стан пацієнта контролюється за допомогою пульсоксиметра, фотоплетізмограми і вимірювача швидкості та об'єму дихання. Склад повітря, що вдихає пацієнт, вимірюється датчиками O_2 та CO_2 . Для забезпечення безпеки здоров'я та життя пацієнта під час проведення сеансу ІНГТ відбувається постійний контроль наступних параметрів: концентрація O_2 і CO_2 , частота дихання (ЧД), дихальний об'єм (ДО), частота серцевих скорочень (ЧСС), сатурація крові (SpO_2). При виході описаних параметрів за задані межі буде увімкнена сигналізація або завершено сеанс з увімкненням примусової вентиляції дихальної камери.

На допомогу проектувальнику розроблено програмне забезпечення та базу елементів, що дозволяє спроектувати різні комплектації комплексу. При проектуванні конструкції ДК та БУ запропоновано три шаблона комплектації АПАК: *мінімальна комплектація* – створення ГГС та підтримання заданої концентрації O_2 (датчик O_2 , компресор, картридж поглинач CO_2 , блок живлення, мікроконтролер, резервний мішок, система подачі ГГС (маска/загубник, дихальна трубка, з'єднувачі, клапани)); *оптимальна комплектація* – створення ГГС, підтримання необхідної концентрації O_2 , моніторинг параметрів зовнішнього дихання та гемодинаміки та передача даних на ПК (мінімальна комплектація з доданням модуля пульсоксиметра, модуля

спірометрії, USB-порту для передачі даних, датчика CO_2); *максимальна комплектація* – створення ГГС, підтримання необхідної концентрації O_2 , визначення концентрації CO_2 в ГГС та розширений моніторинг параметрів зовнішнього дихання і серцево-судинної системи, автономна робота за допомогою дисплея та передача даних на ПК (оптимальна комплектація з доданням дисплея, модуля артеріального тиску, модуля електрокардіограми).

При проектуванні конструкції ДК важливе значення має необхідний об'єм поглинача CO_2 для проведення одного сеансу, тому проведено дослідження властивостей абсорбенту CO_2 та визначено оптимальну формулу для розрахунку маси поглинача CO_2 в залежності від фізіологічних властивостей людини. У комплексі використовується натронне вапно медичного призначення VentiSorb (Великобританія). З виробленням абсорбент змінює колір, що свідчить про необхідність замінити його на новий. Поглинальна здатність становить 140 л CO_2 на 1 кг поглинача.

Об'єм CO_2 , що необхідно поглинути залежить від метаболізму та ДО людини, тому для визначення оптимальної кількості поглинача CO_2 проводилися дослідження зміни властивостей поглинача з урахуванням ДО, що можна визначити за допомогою проведення лабораторних досліджень дихальної системи до початку сеансу, або за різними формулами в залежності від ваги, росту, статі та віку пацієнта. Досліджено наступні підходи розрахунку ДО:

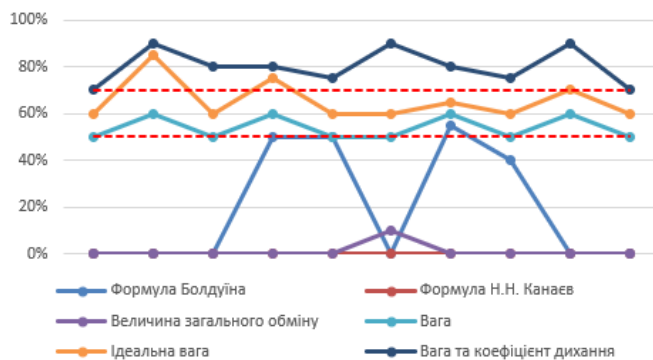


Рис. 3. Дослідження властивостей погл. CO_2

формула Болдуїна, формула Канаєва, на основі величини загального обміну, на основі ваги, ваги та дихального коефіцієнту та ідеальної ваги (рис. 3).

Враховуючи, що поглинач CO_2 необхідно замінювати, якщо його поглинальна здатність використана більше ніж на 50-70 %, то визначено, що для мінімізації кількості поглинача CO_2 необхідно провести розрахунки за наступними

формулами: $Mab = (V_{\text{CO}_2} \times 1) / AC_{\text{CO}_2}$, де AC_{CO_2} – поглинальна здатність абсорбенту CO_2 на 1 кг речовини; 1 – маса речовини, на яку розрахована поглинальна здатність; V_{CO_2} – об'єм CO_2 , що необхідно поглинути, рекомендується визначати за формулою: $V_{\text{CO}_2} = 0,05 \times t \times F \times RV$, де t – тривалість сеансу ГТ, хв.; F – частота дихання; RV – дихальний об'єм, визначається за формулою: $RV = 4 \times H + 3 \times wb - 400$, де wb - вага тіла фактична, кг; H - зріст, см.

Запропоновано декілька варіантів конструкції АПАК, дослідження яких показало, що модифікація системи подачі ГГС пацієнтові за рахунок розділення потоків вдиху та видиху, забезпечує одержання більш стабільної і точної концентрації O_2 за рахунок зменшення апаратного «мертвого простору» в дихальній трубці.

Проектування корпусів дихальної камери та БУ (рис. 4 і 5) дозволило скоротити витрати часу та коштів на виготовлення нових модифікацій пристроїв за рахунок прорахунку необхідної кількості матеріалу та визначення оптимального розміщення елементів, а також скоротила витрати на собівартість проведення процедури, за рахунок визначення індивідуально необхідної кількості поглинача CO₂ на одну процедуру.

Для проектування використано SW 2014, а для програмування додатків до системи – середовище розробки Visual Studio та мова програмування C#.



Рис. 4. Приклад конструкції ДК АПАК з блоком управління.

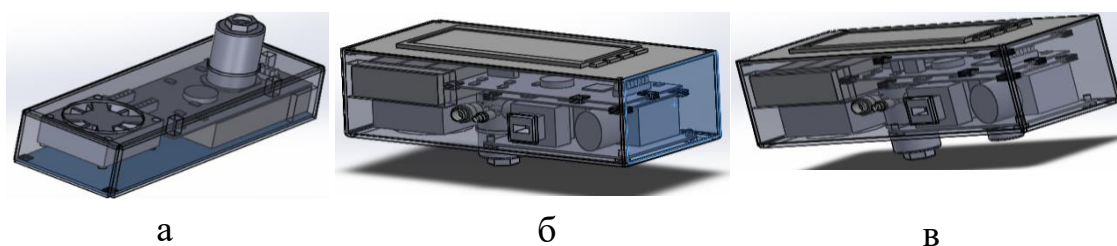


Рис. 5. Приклад конструкції БУ при різних комплектаціях: а - мінімальна; б - оптимальна; в - максимальна.

У четвертому розділі, що називається *«Програмне забезпечення автоматизованого програмно-апаратного комплексу для проведення гіпоксичних тренувань»* описано функціонал користувачів системи та архітектуру ПЗ комплексу, показано взаємозв'язок підсистем між собою.

До користувачів ПЗ відносяться адміністратор (основні функції: додавання нових користувачів системи та актуалізація БД), БУ (опитування вимірювальних пристроїв, збір даних, їх обробка та передача), медпрацівники, що діляться на оператора (проведення сеансів, візуалізація результатів), експерта (поповнення бази правил, експертна оцінка проведених сеансів та стану організму) та дослідника (моделювання процесів та визначення параметрів фізіологічних систем організму людини).

Запропоновано архітектуру ПЗ (рис. 6), що забезпечує відповідність принципам розширеності та модульності системи. Особливістю архітектури є наявність частини, що обслуговує апаратне забезпечення АПАК (підсистеми БУ, налаштувань АПАК, проведення сеансів, роботи з даними) та частини, що проводить дослідження стану пацієнта до, під час та після сеансів гіпокситерапії (підсистеми дослідження стану пацієнта, автоматизованої оцінки сеансів, роботи з даними, візуалізації результатів).

Підсистема управління ПЗ виконує роль посередника між іншими підсистемами та реалізує функції налаштувань робочого простору користувачів системи. *Підсистема налаштувань АПАК* використовується для тестування роботи вимірювальних пристроїв АПАК та проведення їх калібрування, а також для налаштування параметрів безпеки сеансів, тобто встановлення критичних

значень концентрацій O_2 та CO_2 , ЧСС, SpO_2 , ДО та ЧД, при яких необхідно зупинити проведення сеансів терапії. Підсистема проведення сеансів є основною для оператора-медпрацівника та в реальному часі працює з апаратним забезпеченням комплексу через підсистему БУ та виконує функції запуску та налаштування методики проведення терапії і обробка критичних значень параметрів. Підсистема роботи з даними виконує роль менеджера БД для БД та бази правил. Підсистема візуалізації результатів призначена для побудови графіків, таблиць, звітів та збереження результатів проведення сеансів та аналізу на диск.

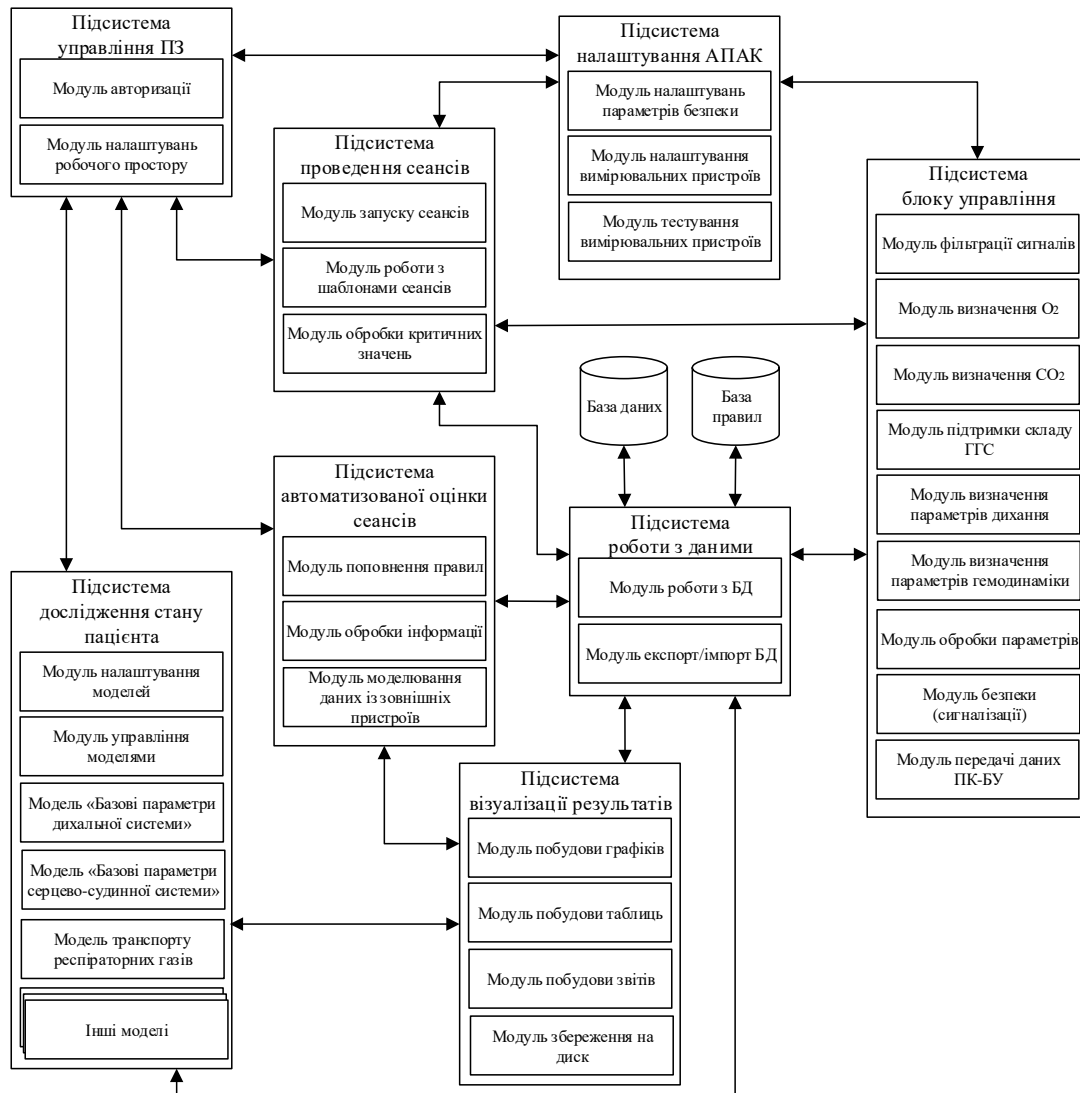


Рис. 6. Архітектура ПЗ АПАК

Підсистема блоку управління (рис. 7) тісно взаємодіє з підсистемою налаштувань АПАК та підсистемою роботи з БД та виконує функції пов'язані зі збором даних з вимірювальних пристроїв, їх обробкою, визначення та підтримкою заданого складу ГТС, а також збір інформації про стан організму під час сеансів та передача даних на ПК для подальшої обробки. Реалізовано алгоритми визначення концентрації O_2 та CO_2 , обчислення параметрів ДО, ЧД, ЧСС, і SpO_2 , синхронізацію даних, систему апаратних таймерів та переривань функціонального призначення і режими роботи, які можуть бути задані

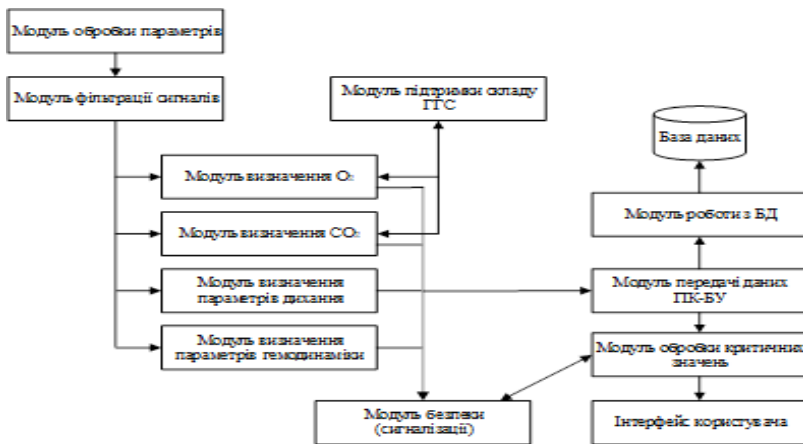


Рис. 7. Підсистема блоку управління.

для фільтрації сигналів у комплексі найкраще підходить програмний фільтр Баттерворта 2-го порядку, оскільки він не потребує значних обчислювальних ресурсів та використовує значення сигналів лише до двох останніх ітерацій. Реалізовано спосіб підтримки заданого складу дихальної суміші та керування компресором за допомогою модифікованого ПІД-регулятора, диференціальна складова якого визначається як функція від хвилинного об'єму дихання. Це дозволило підвищити точність та надійність роботи БУ АПАК. При розробці підсистеми БУ використано AtmelStudio 6, програматор AVRDragon та ModbusPool.

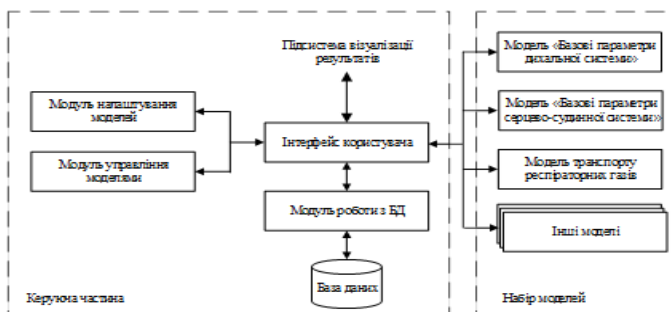


Рис. 8. Підсистема дослідження стану

використовуватися для аналізу, та набір моделей, до якого відносяться модулі розрахунку базових параметрів дихальної та серцево-судинної систем, а також моделі процесів в організмі людини, наприклад, процесу транспорту респіраторних газів через кров до різних органів. До набору моделей можуть додаватися інші модулі для моделювання фізіологічних процесів. Така

Підсистема дослідження стану пацієнта (рис. 8) є основною підсистемою для дослідника-лікаря та забезпечує проведення всебічного аналізу стану пацієнта. Модулі підсистеми можна умовно розділити на дві частини: модулі керування, що дозволяють провести налаштування моделей, які будуть

незалежність системи керування дозволяє легко переробити чи повністю змінити інтерфейс користувача без жодних змін у математичній частині.

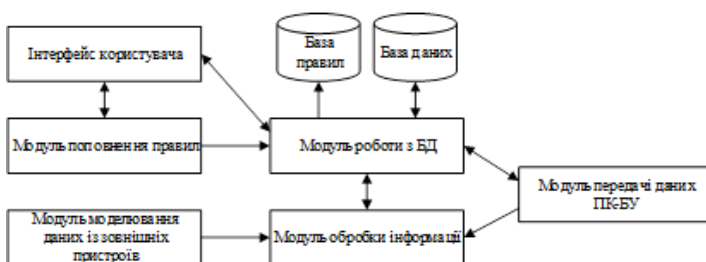


Рис. 9. Підсистема автоматизованої оцінки.

Підсистема автоматизованої оцінки сеансів та стану організму (рис. 9) є основною для експерта-

лікаря та забезпечує актуалізацію бази правил через модуль поповнення та проведення експертної оцінки сеансів діагностики та курсу лікування, надання рекомендації щодо подальшого лікування та при необхідності рекомендації про додаткові аналізи і консультації в інших спеціалістів. Дана підсистема з невеликими доопрацюванням може працювати з іншими медичними пристроями чи взагалі як самостійна програма оцінки та надання рекомендацій в медичній сфері. В основному, доопрацювання будуть відноситися до заповнення бази правил відповідними правилами та фактами. Розроблений сервіс автоматизованої оцінки сеансів діагностики та ефективності курсу лікування за допомогою проведених процедур покращила ефективність та безпечність проведеної терапії, що в майбутньому забезпечить використання комплексу не тільки в медичних установах, але і в домашніх умовах.

При розробці ПЗ використано середовища розробки Visual Studio, мова програмування C# та СКБД MySQL.

Запропонована архітектура ПЗ комплексу відповідає поставленим вимогам та забезпечує адаптацію програмного забезпечення для дослідження даних з різних типів гіпоксикаторів, в тому числі, генеративного типу («CellOne Air», «Нурохіко», «GO2Altitude Нурохіко system»).

У п'ятому розділі під назвою **«Практичне використання автоматизованого програмно-апаратного комплексу»** розглянуто процес роботи з підсистемами АПАК та проведено порівняння з прототипом апаратом гіпоксичної стимуляції «ГІПОТРОН».

Після входу в систему користувач вводить відповідні вхідні дані, що відрізняються в залежності від типу користувача системи (для користувача експерта – діагноз, набір параметрів та правила; для оператора – інформація про пацієнта (персональні дані, діагноз, зріст, вага, вік, стать) та шаблон сеансу; для дослідника – інформація про пацієнта та про додаткові лабораторні дослідження). Далі користувач виконує необхідні функції в залежності від своєї ролі. У результаті роботи отримуємо базу пацієнтів, показники організму, оцінку стану людини та рекомендації щодо подальшого лікування.

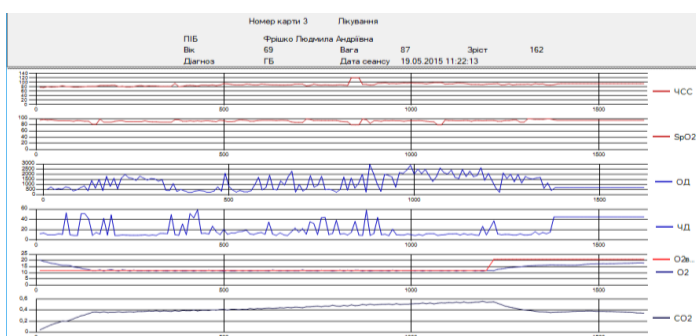


Рис. 10. Інформації про сеанс лікування.

показників дихальної системи, що характер. бронхіальну прохідність (зб. об'єм форсованого видиху за 1 сек. та швидкість видиху на рівні середніх бронхів) та резервні можливості легень (зб. макс. вентиляція легень), а при аналізі серцево-судинної системи – покращення периферичного судинного кровообігу (зм.

Результати роботи системи продемонстровано на прикладі проведення курсу гіпокситерапії (рис. 10) для відносно здорових та хворих людей на ХОЗЛ літнього віку та проведення дослідження стану кардіореспіраторної системи. Наприклад, оцінка курсу лікування пацієнтів літнього віку з ХОЗЛ (рис. 11) показала покращення

загального периферичного опору судин, систолічного артеріального тиску), покращення скорочувальної здатності міокарду (зб. хвилинний об'єм кровообігу та ударний об'єм), зменшення вазоконстрикції судин (зм. систолічного артеріального тиску), покращення кисневого забезпечення (зб. сатурація крові). Покращення цих показників свідчить про ефективність ІНГТ, тому рекомендовано повторити курс через 3 місяці.

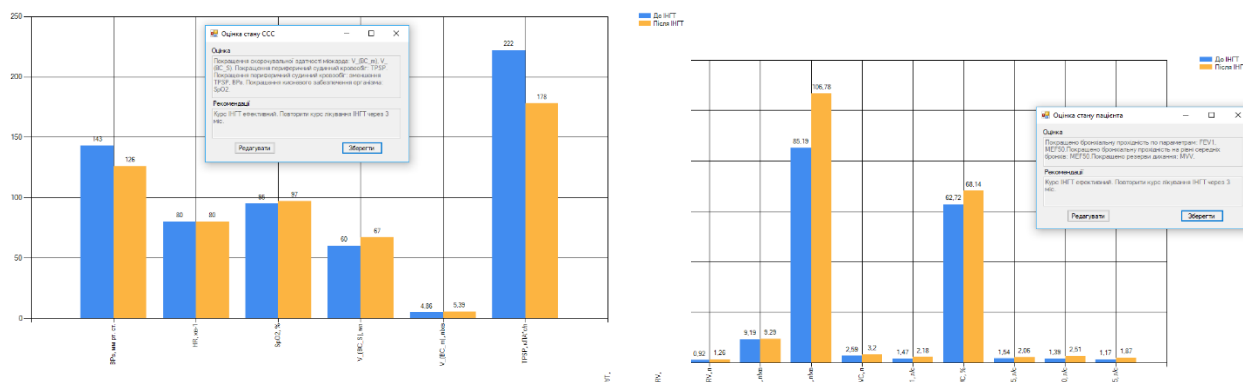


Рис. 11. Результати досліджень кардіореспіраторної систем при ХОЗЛ.

Клінічні дослідження АПАК в ДУ «Інститут геронтології імені Д.Ф. Чеботарьова НАМН України» показали ефективність, безпечність та зручність використання комплексу при визначенні реакції на гіпоксію та проведенні ГТ.



Рис. 12. Екземпляр АПАК

Порівнюючи АПАК (рис. 12) з прототипом апаратом гіпоксичної стимуляції «ГІПОТРОН» (патент України №74516, Сліпченко В.Г., Шульженко О.Ф., Денисенко Г.Т.) та АПАК [13,15,16] слід відзначити такі вдосконалення: визначення та аналіз параметрів дихальної та серцево-судинної системи розширило діагностичні можливості лікаря та підвищило точність постановки діагнозів; створення автоматизованої системи оцінки сеансів підвищило безпечність та ефективність проведення процедур; використано модульний підхід створення ПЗ, що дає можливість легко та зручно модифікувати систему та використовувати окремі частини як самостійні підсистеми для роботи з даними інших гіпоксикаторів; БУ переведено на нову елементну базу, що зменшило розмір корпусу під БУ та значно скоротило витрати на виробництво; підвищено точність та надійність отримуваних даних вимірювальних пристроїв за рахунок аналізу та обрання кращих програмних фільтрів обробки сигналів та модифікації ПД-регулятора; проектування корпусу БУ з урахуванням сформованих правил оптимального розміщення елементів дозволило скоротити витрати на виробництво; проектування корпусу дихальної камери дозволило: підвищити точність складу ГГС за рахунок зменшення кількості мертвого простору в ДК, зменшити собівартість процедури за рахунок визначення індивідуально необхідної кількості поглиначів CO₂, скоротити витрати на виробництво; додання модуля пульсоксиметрії розширило функціональні можливості АПАК під час моніторингу стану пацієнтів, за рахунок цього отримуються важливі параметри

(ЧСС, SpO₂) для проведення діагностики компенсаторних можливостей організму пацієнта.

Отже, АПАК є комплексним рішенням для діагностики, профілактики та лікування різних захворювань за допомогою гіпокситерапії. АПАК дозволяє проводити сеанси, моделювання впливу гіпоксії на організм людини та автоматизовану оцінку стану функціональних систем організму та визначати їх рівень адаптованості до гіпоксії.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано актуальне наукове завдання розроблення моделей, методів та інструментальних засобів, спрямованих на підвищення ефективності досліджень у сфері гіпоксії та гіпокситерапії – немедикаментозного методу профілактики та лікування людини, включаючи підвищення резистентності організму людини.

У дисертації отримані наступні теоретичні та практичні результати, що є певним внеском цієї роботи у розвиток сфери розробки програмно-апаратного забезпечення медичного призначення та науки про гіпоксію і проведення ГТ:

1. Проведено комплексне дослідження задачі програмно-апаратного забезпечення використання гіпоксикаторів та стану існуючого інструментарію для проведення ГТ, що дозволило вперше запропонувати при їх проектуванні модульний підхід, який враховує індивідуальні особливості цільової аудиторії пацієнтів гіпоксикаторів та оптимізує структуру і підсистеми комплексів під завдання і методику ГТ. Запропонована архітектура та технологія розробки гіпоксикаторів забезпечують можливість використання окремих підсистем (наприклад, підсистеми дослідження кардіореспіраторної системи та підсистеми автоматизованої оцінки сеансів) як незалежних компонентів в інших медичних пристроях – гіпоксикаторах, в тому числі, генеративного типу («CellOne Air», «Нурохіко», «GO2Altitude Нурохікатор system» тощо) – та легку модифікацію гіпоксикатора, наприклад, додання нових підсистем у вигляді математичних моделей функціональних систем організму.

2. Вперше запропоновані і реалізовані базові апаратні і програмні підсистеми, які при їх оркеструванні дозволяють проводити всебічний аналіз стану дихальної системи та системи кровообігу, а також моделювати та досліджувати вплив гіпоксії на ці системи.

3. Проведено подальший розвиток експертних систем медичного призначення та створено спеціалізовану експертну підсистему для прийняття експертних рішень під час медичних процедур, зокрема, гіпокситерапії, що дозволило зменшити кількість лікарських помилок при проведенні терапії та призначенні лікування.

4. Проведено клінічні дослідження гіпоксикатора в ДУ «Інститут геронтології імені Д.Ф. Чеботарьова НАМН України», що показали ефективність, безпечність та зручність використання гіпоксикатора при визначенні реакції на гіпоксію та проведенні ГТ. Результати досліджень

обговорювались на медичних конференціях і медичних виставках та опубліковані в наукових статтях в фахових медичних журналах і отримано методичні рекомендації МОЗ (42.17/86.17), що пропонуються для впровадження в лікувально-терапевтичних установах Міністерства охорони здоров'я України пульмонологічного і терапевтичного профілю.

5. Проведена підготовка гіпоксикатора до серійного випуску, для чого розроблено тривимірні моделі різних модифікації конструкції гіпоксикатора, виготовлено креслення корпусів і прораховано основні параметри конструкції. Нові конструкції підтверджені патентами. На підтримку проектувальнику створені рекомендації щодо використання апаратно-програмних підсистем гіпоксикаторів, виходячи з вимог до проектованої системи.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Гіпоксія як метод підвищення адаптаційної здатності організму людини : монографія / Сліпченко В.Г., Коркушко О.В., Шатило В.Б., Полягушко Л.Г. та ін.; за заг. ред. Сліпченка В.Г., Коркушка О.В. К.: НТУУ «КПІ», 2011. 228 с.

(Особистий внесок: опис та розроблення ПЗ до гіпоксикатору «ГППОТРОН»)

2. Гіпоксія як метод підвищення адаптаційної здатності організму : монографія / Сліпченко В.Г., Коркушко О.В., Шатило В.Б., Полягушко Л.Г. та ін.; за заг. ред. О.В. Коркушка, В.Г. Сліпченка. К.: НТУУ «КПІ», 2015. 484 с.

(Особистий внесок: дослідження становлення та сучасний стан науки про гіпоксію та ГТ, опис та розроблення ПЗ до гіпоксикатору «ГППОТРОН»)

3. Сліпченко В.Г., Полягушко Л.Г., Трачук Ю.І. Математичний опис процесів кардіореспіраторної системи людини у контексті гіпоксії. *Міжн. наук. журнал «Інтернаука»*. 2017. № 7(29). С. 97-101 (OAJI, BASE, CrossRef).

(Особистий внесок: аналіз моделей моделювання процесів кардіореспіраторної системи під впливом гіпоксії)

4. Slipchenko V., Poliagushko L., Kotunov V. Development of hardware and software of the complex for hypoxotherapy. *Technology audit and production reserves*. 2018. № 2/2(40). Р. 22-28.; DOI - <https://dx.doi.org/10.15587/2312-8372.2018.128802> (Index Copernicus, BASE, РИНЦ, ResearchBib, DOAJ, OAJI).

(Особистий внесок: запропоновано та реалізовано структуру нового АПАК для проведення гіпокситерапії)

5. Сліпченко В.Г., Полягушко Л.Г., Котунов В.О. Реєстрація параметрів автоматизованого програмно-апаратного комплексу медичного призначення. *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. 2018. Том 20, №2. С. 42-51 (Google Scholar).

(Особистий внесок: опис особливостей реалізації збору та обробки інформації з вимірювальних пристроїв медичного призначення в реальному часі)

6. Сліпченко В.Г., Полягушко Л.Г. Система автоматизованого проектування приборів спеціального медичного призначення. *Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць; гол. ред. кол. А.В. Найдиш. Мелітополь:*

Видавництво МДПУ ім. Б Хмельницького, 2018. Вип. 12. С. 138-143 (Google Scholar).

(Особистий внесок: розробка системи автоматизованого проектування конструкцій корпусів гіпоксикаторів)

7. Полягушко Л.Г. Автоматизований аналіз стану пацієнта та оцінка сеансів сидичних процедур (гіпокситерапії). *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. 2019. Том 21, №2. С. 12-20 (Google Scholar).

8. Автоматизований програмно-апаратний комплекс «Гіпотрон-М» : пат. 113908 України : МПК А61М 16/00. №u201606545 ; заявл. 15.06.2016 ; опубл. 27.02.2017, бюл. № 4.

(Особистий внесок: запропоновано нову конструкцію АПАК)

9. Пристрій для визначення стійкості організму людини до гіпоксії. : пат. 115261 України : МПК А61М 16/00, А61В 5/08. №u201610608 ; заявл. 21.10.2016 ; опубл. 10.04.2017, бюл. № 7.

(Особистий внесок: запропоновано конструкцію пристрою для діагностики організму на стійкість до гіпоксії)

10. Автоматизований програмно-апаратний комплекс для проведення гіпоксичних тренувань : пат. 123682 України : МПК А61М 16/00. №u201707302 ; заявл. 11.07.2017 ; опубл. 12.03.2018, бюл. № 5/2018.

(Особистий внесок: запропоновано нову конструкцію АПАК)

11. А.п. 75870 Україна. Комп'ютерна програма «Автоматизоване робоче місце спеціаліста по гіпоксичним тренуванням» / Полягушко Л.Г., Сліпченко В.Г. (Україна). – №75870; заявл. 12.01.18; опубл. 27.04.18, бюл. 48.

(Особистий внесок: запропоновано структуру ПЗ АПАК для гіпокситерапії, розробка підсистем ПЗ)

12. А.п. 75869 Україна. Комп'ютерна програма «Моніторинг кардіореспіраторної системи під час гіпоксії («Cardiorespiratory»))» / Полягушко Л.Г., Сліпченко В.Г., Ткачук Ю.І. (Україна). – №75869; заявл. 12.01.18; опубл. 27.04.18, бюл. 48.

(Особистий внесок: запропоновано структуру ПЗ АПАК для гіпокситерапії, розробка ПЗ моделювання впливу гіпоксії та терапії на організм людини)

13. А.п. 75868 Україна. Комп'ютерна програма «Система супроводу інтервальних нормобаричних гіпоксичних тренувань» / Полягушко Л.Г., Сліпченко В.Г., Котунов В.О. (Україна). – №75868; заявл. 12.01.18; опубл. 27.04.18, бюл. 48.

(Особистий внесок: запропоновано структуру ПЗ АПАК для гіпокситерапії та розробка підсистем ПЗ)

14. Застосування інтервальних нормобаричних гіпоксичних тренувань у хворих похилого віку з хронічним обструктивним захворюванням легень: метод. рек. (42.17/86.17) / Уклад.: Е.О. Асанов, В.Г. Сліпченко, Л.Г. Полягушко та ін. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. 28 с.

(Особистий внесок: результати аналізу ефективності роботи АПАК у хворих на ХОЗЛ похилого віку)

15. Полягушко Л.Г. Програмна реалізація автоматизованого програмно-апаратного комплексу для інтервальних нормобаричних гіпоксичних тренувань. *Міжнар. наук. інтернет-конференція «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення (випуск 30)»* : зб. тез доповідей: випуск 30 (м. Тернопіль, 11 липня 2018 р.). Тернопіль, 2018. С. 68-70.

16. Poliagushko L. Knowledge base of the expert system in the field of hypoxic therapy. *Proceedings of the 7th European Conference on Innovations in Technical and Natural Sciences. Premier Publishing s.r.o., Accent Graphics Communications LLC, Vienna. 2019. P. 14-19.*

17. Poliagushko L.H. Service for research of a condition of the patient in hypoxic therapy. *International sciences Internet Conference "Information Society: Technological, Economic and Technical Aspects of Formation (Issue 40)" (Ternopil, July 9, 2019).* Ternopil, 2019. P. 50-52.

АНОТАЦІЯ

Полягушко Л.Г. Програмно-апаратне забезпечення моделювання впливу гіпоксії на організм людини та проведення гіпоксичних тренувань – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.12 – системи автоматизації проектувальних робіт. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» МОН України, Київ, 2019.

Дисертація присвячена дослідженню шляхів підвищення ефективності гіпоксикаторів та розробці автоматизованого програмно-апаратного комплексу (АПАК) для моделювання впливу гіпоксії та проведення гіпокситерапії. Розроблено інструментарій для проектування різних комплектацій комплексу, враховуючи індивідуальні особливості цільової аудиторії пацієнтів. Створено програмне забезпечення (ПЗ) та базу елементів для проектування тривимірних моделей та креслень гіпоксикаторів. Запропоновано математичну модель для визначення кількості поглинача CO₂, що дозволило скоротити собівартість експлуатації. Розроблено спеціалізовану експертну систему для прийняття експертних рішень під час гіпокситерапії, що дозволило зменшити кількість лікарських помилок. Набуло подальшого розвитку моделювання параметрів кардіореспіраторної системи, що дозволило розширити функціональність гіпоксикаторів за рахунок збільшення множини параметрів, що визначаються під час терапії. Запропоновано архітектуру ПЗ, що забезпечує використання окремих підсистем (сервісних програм) як незалежних програм з іншими медичними пристроями та легку модифікацію системи. АПАК пройшов апробацію в ДУ «Інститут геронтології імені Д. Ф. Чеботарьова НАМН України».

Ключові слова: автоматизований програмно-апаратний комплекс, проектування, мікроконтролер, експертна система, моделювання, гіпоксикатори, гіпоксичні тренування, фізіологічні параметри.

АННОТАЦИЯ

Полягушко Л.Г. Программно-аппаратное обеспечение моделирования влияния гипоксии на организм человека и проведения гипоксических тренировок – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.12 – системы автоматизации проектирования работ. – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» МОН Украины, Киев, 2019.

Диссертация посвящена исследованию путей повышения эффективности гипоксикаторов и разработке автоматизированного программно-аппаратного комплекса для проведения гипоксических тренировок и моделирования влияния гипоксии на организм человека. Определены основные подходы, используемые при создании приборов для проведения гипокситерапии. Проведен анализ принципа работы, строение и функциональность аппаратного и программного обеспечения гипоксикаторов и современных технологий и методов проектирования медицинского оборудования.

Предложен и разработан инструментарий для проектирования различных комплектаций комплекса, учитывая индивидуальные особенности целевой аудитории пациентов. Создано программное обеспечение и базу элементов для проектирования трехмерных моделей и чертежей гипоксикаторов, что позволило просчитать основные параметры конструкции, подготовить один из вариантов гипоксикатора к серийному производству и сократить расходы на производство приборов для проведения гипокситерапии. Также для поддержки проектировщика созданы рекомендации относительно использования аппаратно-программных подсистем гипоксикатора в соответствии с требованиями к проектируемой системы.

Предложена и разработана математическая модель для определения количества химического поглотителя в зависимости от индивидуальных особенностей пациента, что позволило сократить себестоимость процедуры в 10 раз.

Предложено и разработано архитектуру и технологию разработки программного обеспечения, которое позволяет использовать отдельные подсистем как независимые программ с другими медицинскими устройствами и легкую модификацию системы.

Создано специализированную экспертную систему для принятия экспертных решений во время медицинских процедур, в частности, гипокситерапии, что позволило уменьшить количество врачебных ошибок при проведении терапии и назначении лечения. Описана формальная модель базы правил системы и описан алгоритм логического вывода, который обеспечивает быстрый поиск решения среди существующей базы правил.

Получило дальнейшее развитие моделирование параметров кардиореспираторной системы организма человека, что позволило расширить функциональность гипоксикаторов за счет расширения множества параметров,

определяющихся во время терапии. Разработанная подсистема моделирования и исследования состояния организма позволяет увеличить точность постановки диагнозов и расширить диагностические возможности врача, при этом не требует покупки дорогостоящего оборудования и проведения дополнительных анализов, так как для определения параметров в основном используются физиологические данные пациента. Это способствует широкому использованию комплекса.

Автоматизированный программно-аппаратный комплекс прошел апробацию в ГУ «Институт геронтологии имени Д.Ф. Чеботарева НАМН Украины» и получено методические рекомендации МЗ (42.17/86.17), предлагаемых для внедрения в лечебно-терапевтических учреждениях Министерства здравоохранения Украины пульмонологического и терапевтического профиля.

Ключевые слова: автоматизированный программно-аппаратный комплекс, проектирование, микроконтроллер, экспертная система, моделирование, гипоксикаторы, гипоксические тренировки, физиологические параметры.

SUMMARY

Poliagushko L.G. Software and hardware simulation of the influence of hypoxia on the human body and conduct hypoxic training – Manuscript.

Thesis for candidate of technical sciences degree in specialty 05.13.12 – computer aided design systems. – National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» MES of Ukraine, Kyiv, 2019.

The dissertation is devoted to the research of ways of increase of efficiency of hypoxicators and development of the automated software and hardware complex for modeling of influence of hypoxia and carrying out of hypoxic therapy. A toolkit for designing different complexes of the complex was developed, considering the individual features of the target audience of patients. Software and element base were created for the design of 3D models and drawings of hypoxicators. A mathematical model for determining the amount of CO₂ absorber is proposed. It reduced the cost of operation. A specialized expert system was developed for making expert decisions during hypoxic therapy, this reduced the number of medical errors. The modeling of parameters of the cardiorespiratory system was further developed. It made possible to extend the functionality of hypoxicators by increasing the number of parameters. A software architecture is proposed to allow the use of individual subsystems as independent programs with other medical devices and easy modification of the system. ASHC have been approbated in the Institute of Gerontology named after D.F. Chebotarev NAMS of Ukraine.

Keywords: automated software and hardware complex, designing, microcontroller, expert system, modeling, hypoxicator, hypoxic training, physiological parameters.